

УДК 620.179

О.В. Курасов, студент гр. ПК-71мп.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ МАТЕРІАЛУ ЯКОСТІ СТВОЛА МІНОМЕТУ.

Анотація. В данній статті було розглянута можливість ультразвукового контролю ствола міномета. З точки зору контролю якості металу для уникнення руйнування його при експлуатації.

Ключові слова: Неруйнівний контроль, ультразвуковий контроль.

ВСТУП

Циліндричні трубчасті конструкції знайшли широке використання в сучасній техніці, як для транспортування рідинних та газоподібних матеріалів, так і для реалізації різноманітних технологічних процесів в різних галузях виробництва та озброєння. дужках

Значний інтерес з точки зору контролю якості металу трубчастих конструкцій представляють гладкі стволи гармати та мінометів, матеріал яких витримує значні швидкоплинні та теплові механічні навантаження в процесі згорання порохових зарядів при реалізації пострілу. Подібні трубчасті конструкції повинні періодично контролюватися з метою виявлення пошкоджень у вигляді тріщин втоми втрат матеріалу внутрішньої поверхні ствола, що дасть можливість уникнення руйнування у процесі виконання бойового завдання.

ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ

Розглянемо можливість неруйнівного контролю направленого на виявлення дефектів внутрішньої структури матеріалу ствола з допомогою ультразвукових коливань, які збуджуються в його стінці, як у хвильоводі з фіксованою товщиною. Така хвиля може збуджуватися при її кутовому вводі α в середовище контрольованого матеріалу [1]:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{0,5n\lambda}{h}\right) \quad (1)$$

Тут λ — довжина хвилі коливань в матеріалі об'єкту контролю; h — товщина матеріалу ствола; n — ціле число.

Ціле число n в виразі (1) визначається співвідношенням між товщиною хвильоводу (товщиною стінки ствола) і довжиною хвилі коливань, яка, як відомо залежить від частини коливань і швидкості її розповсюдження.

Кут α для збудження в хвильоводі нормальної хвилі визначається для металу, як середовища контролю, між першим і другими критичними кутами вводу коливань. Умовою виникнення в хвильоводі так званої головної хвилі є співпадання фаз хвилі відбитої від нижньої границі металу (внутрішньої поверхні ствола) і падаючої хвилі з верхньої (зовнішньої) поверхні. При цьому швидкість розповсюдження утвореної таким чином нормальної хвилі вздовж хвильоводу (середовища між верхньою і нижньою поверхнями ствола) становить:

$$C_n = \frac{C_l}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,5n\lambda}{h}\right)^2}} \quad (2)$$

де C_l — швидкість розповсюдження повздовжньої хвилі в матеріалі об'єкту контролю.

При $h/\lambda \rightarrow \infty$ швидкість нормальної хвилі стає рівною швидкості звичайної хвилі (в даному випадку — повздовжньої хвилі коливань для матеріалу трубчатої конструкції).

Згадана умова резонансу падаючої і перевідбитою в стінці ствола хвиль вимагає, щоб тривалість радіо імпульсу коливань була більшою за величину затримки хвилі, яка відбивається від донної поверхні хвильоводу. Утворена в стінці хвильоводу ультразвукова нормальна хвиля здатна розповсюджуватися на значну відстань, що достатньо для виявлення дефектів в структурі матеріалу реального за довжиною ствола гармати чи міномету.

При цьому потрібно враховувати, що поява луносигналу можлива лише від неоднорідностей, які здатні відбивати падаючі на них хвилю. Ідеальна тріщина розташована у напрямку розповсюдження хвилі не зможе реалізувати відбиття ультразвуку. Для її виявлення необхідно використовувати іншу за напрямками розповсюдження хвилю. Тому в системі контролю матеріалу ствола слід передбачити збудження додаткової моди коливань під кутом до його осі, для чого слід використати додатковий канал вимірювання зі своїм відповідно орієнтованим ультразвуковим перетворювачем.

Напругу збудження п'єзoeлектричного перетворювача $U_{зб}$ визначимо задавшись рівнем луносигналу, наприклад — 0,01 В, відбитого від дефекту умовно розташованого в точці вводу коливань. Функціональна схема двохканальної ультразвукової системи контролю матеріалу трубчатої конструкції показана на рис 1.

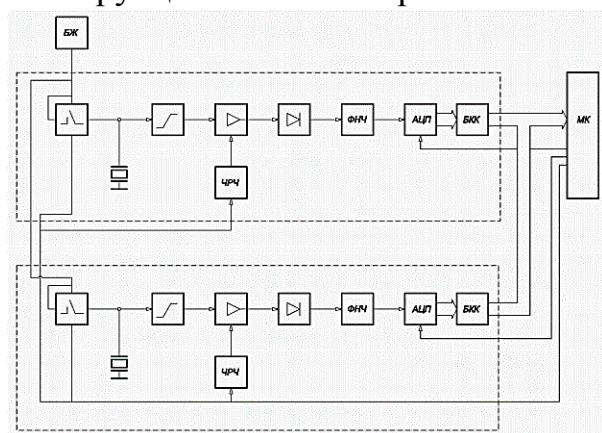


Рисунок 1. Функціональна схема двохканальної УЗ системи контролю

1, 2- прямий та канали

Збудження коливань в обох каналах (прямому і кутовому) виконується шляхом підключення імпульсу напруги до відповідного п'єзoeлектричного перетворювача встановленого на клиноподібному звукопроводі. Амплітуда такого імпульсу визначається виходячи зі значення коефіцієнта відбиття коливань від дефекту бракувального рівня, умовно розташованого безпосередньо в зоні вводу коливань в середовище

об'єкту контролю. При цьому необхідно врахувати втрати коливань в звукопроводі та за рахунок проходження ними матеріалу звукопроводу та границь між власним перетворювачем з ЦТС-19, матеріали звукопроводу (ортскло) та матеріалу об'єкту контролю (рис.2).

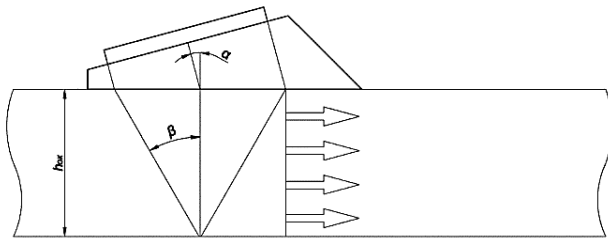


Рисунок 2. Схематичне зображення ходу акустичних коливань при прозвучуванні тонкостінного звукопроводу

Для визначення кутових параметрів клиноподібного звукопроводу (рис.3) виходячи з задоної товщини стінки трубчатої конструкції об'єкту контролю використовуємо формулу (2):

$$h = \frac{n\lambda_t}{2\cos\beta} \quad (3)$$

де β – кут заломлення повздовжньої хвилі в матеріалі об'єкту контролю;

λ_t – довжина хвилі коливань в цьому матеріалі; n – ціле число.

Задамося кутами заломлення $\beta = 35^\circ$ і визначимо кутовий нахил площини клиноподібного звукопроводу з оргскла ($C_1 = 2710$ м/с).

$$\frac{\cos\alpha}{C_{loop}} = \frac{\cos\beta}{C_{мет}} \quad (4)$$

$$\alpha = \arccos \frac{C_{loop} \times \cos\alpha}{\cos\beta} \quad (5)$$

Якщо $\beta = 35^\circ$ $C_{loop} = 2,7 \times 10^3$ м/с; $C_{мет} = 2,7 \times 10^3$ м/с;

Значення кута падіння ультразвукових повздовжніх коливань на поверхню об'єкту контролю становитиме $\alpha = 18^\circ$.

При цьому мінімальна товщина об'єкту контролю згідно не повинна бути меншою за 3,4 мм. ($n=1$).

Збудження коливань з допомогою плоского УЗ коливань в об'єкті з циліндричною поверхнею супроводжується розширенням головної пелюстки діаграмою направленості. Таким розширенням можемо знехтувати, якщо діаметр перетворювача набагато менший за діаметр трубчатої конструкції. Для визначення амплітуди збудження коливань визначимо значення коефіцієнту відбиття від дефекту бракувального рівня, еквівалента площа якого становить:

$$S_{деф} = \pi d_{деф}^2 \quad (6)$$

Де $d_{деф}$ еквівалентний діаметр дефекту.

При частоті УЗ коливань $f=106$ Гц граничне значення $d_{деф}$ відповідає довжині хвилі коливань: $d_{деф}=3,3$ мм.

Задамося рівнем луносигналу від дефекту бракувального рівня $U=0,01$ В і визначимо амплітуду імпульсу збудження перетворювача, як:

$$U_{зб} \geq \frac{U_{лс}}{K_n^2 \cdot K_{пр1}^2 \cdot K_{пр2}^2 \cdot K_{зат.зв}^2 \cdot K_{від.деф.}} \quad (7)$$

Де K_n – коеф. електромеханічного зв'язку (коефіцієнт прямого(зворотнього) п'єзоелектричного перетворення); $K_{пр1}$ – коефіцієнт проходження границі розділу п'єзокераміки і оргскла звукопроводу з урахування падаючої і відбитої хвиль;

Для нормально падаючої хвилі на поверхню границі розділу середовищ значення $K_{пр1}^2$ становить:

$$K_{\text{пр1}}^2 = \frac{Z_{\text{кер}} \cdot Z_{\text{оргскла}}}{(Z_{\text{кер}} + Z_{\text{оргскла}})^2} \quad (8)$$

$K_{\text{пр2}}$ — коеф. проходження границі оргскло-метал:

$$K_{\text{пр2}}^2 = \frac{2 \cdot Z_{\text{мет}} \cdot Z_{\text{оргскла}}}{(Z_{\text{мет}} + Z_{\text{оргскла}})^2} \quad (9)$$

Коеф. затухання коливань в оргслі: $K_{\text{зат.оргскла}} = kl$ (10)

Де k — погонний коефіцієнт затухання в оргсклі ($k \approx 30$ нп/м).

Враховуючи, що коефіцієнт передачі детектора з фільтрами нижніх частот на його виході не перевищує $K_{\text{дет}} = 0,3$ визначаємо значення коефіцієнта підсилення луно-сигналу K_{min} задавшись рівнем напруги при існуванні такого дефекту на вході АЦП, наприклад $U_d = 0,2\text{В}$:

$$K_{\text{Пmin}} = \frac{0,2}{U_{\text{деф}} \cdot K_{\text{дет}}} = 0,66 \cdot \frac{1}{10^{-2}} = 66 \quad (11)$$

З моменту збудження коливань в матеріалі об'єкту контролю значення коефіцієнта підсилення луно-сигналу має зростати за законом зворотної пропорційності затуханню коливань. Зміна коефіцієнта підсилення має відбуватися автоматично з допомогою схеми ЧРЧ(часового регулювання чутливості). Реально функція затухання коливань є нелінійною за рахунок розширення є нелінійною за рахунок розширення діаграми направленості перетворювача дальні зоні коливань. Максимальне значення коефіцієнта затухання $K_{\text{зат}}$ в матеріалі об'єкту контролю на всій його довжині становить:

$$K_{\text{нтодс.мах}} = \frac{K_{\text{n.min}}}{K_{\text{зат.ок}}} \quad (12)$$

$$K_{\text{зат.ок}} = k \cdot 2L_{\text{мах}} \quad (13)$$

$L_{\text{мах}}$ — максимальна довжина контрольованої ділянки трубчастої конструкції.

ВИСНОВОК

Ефективність представленої в даній роботі ультразвукової системи неруйнівного контролю полягає в можливості подовження терміну використання міномету чи гармати за результатами їх обстеження. Автоматична система здатна забезпечити високу вірогідність контролю в польових умовах за короткий термін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методы акустического контроля металлов/ Н.П. Алешин, В.Е. Белый, А.Х. Випилкин и др.: Под ред. Н.П.Алешина — М.:машиностроение,1989 — 456 с.
2. Маєвський С.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі / С.М. Маєвський, В.П. Бабак, Л.М. Щербак. — К.: Либідь, 1993. — 200 с.
3. ГОСТ 17410-78. Контроль неразрушающий. Трубы металлические бесшовные цилиндрические. Методы ультразвуковой дефектоскопии.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Маєвський С.М